

# La turquesa del valle de Ónavas, Sonora. Mineralogía y tecnología

Cristina García Moreno\*  
Emiliano R. Melgar Tísoc\*\*

Recibido: 31 de mayo de 2022.  
Aceptado: 26 de agosto de 2022.

## Resumen

La turquesa fue uno de los minerales azul verdoso muy valorado por sociedades de todo el mundo. Altamente utilizada para elaborar ornamentos y producir piezas para conformar objetos a los que se le ha otorgado un importante significado simbólico y gran valor como bien de prestigio. A partir del hallazgo de 154 piezas, mayoritariamente cuentas, manufacturadas en una roca color azul verdosa, gran parte asociadas como joyería a los restos de nueve niños e infantes en el cementerio prehispánico de Ónavas, surgió la necesidad de conocer las características químicas para identificar el mineral con el que habían sido manufacturadas, así como las técnicas con las que se habían elaborado. En este artículo presentamos los resultados del análisis de estas piezas mediante Microsonda de Rayos X (EDS) y Espectroscopía Micro-Raman ( $\mu$ Raman) para su caracterización mineralógica, así como la observación macro y microscópica para la identificación de huellas de manufactura. Finalmente, ofrecemos un esbozo de las implicaciones culturales que conllevan estos resultados.

**Palabras clave:** turquesa, tecnología, Ónavas, lapidaria, intercambio a larga distancia.

## Abstract

Turquoise was one of the blue-green minerals highly valued by societies around the world. Widely used to make ornaments and produce pieces to manufacture objects that have been given an important symbolic meaning and great value as a prestige asset. From the discovery of 154 pieces, mostly beads, manufactured in a blue-green stone a large part of these associated as jewelry to nine children and infants buried in the pre-Hispanic cemetery of Ónavas, the need arose to know the chemical characteristics to identify the

\* Centro INAH Sonora. cristina\_garciamoreno@inah.gob.mx

\*\* Museo del Templo Mayor, INAH. emiliano\_melgar@inah.gob.mx

mineral with which they had been manufactured, as well as the manufacturing techniques. In this article we present the results of the analysis of these pieces by X-Ray Microprobe (EDS) and Micro-Raman Spectroscopy ( $\mu$ Raman) for their mineralogical characterization, as well as macro and microscopic observation for the identification of manufacturing traces. Finally, we offer an outline of the cultural implications of the results.

**Keywords:** turquoise, technology, Ónavas, lapidary, long-distance exchange.

## Introducción

Durante distintos periodos en época prehispánica, hubo varios materiales culturalmente significativos, tal es el caso del jade, la mica, las conchas y caracoles marinos, entre otros; uno de éstos, indudablemente, es la turquesa, cuya importancia en las sociedades prehispánicas ha sido reconocida desde distintos puntos de vista y, en consecuencia, ha sido estudiada con una vasta variedad de técnicas.<sup>1</sup>

Durante muchos años, los objetos azul verdoso encontrados en diferentes contextos del área cultural de Mesoamérica han sido interpretados como la evidencia del contacto de estas sociedades con el suroeste de Estados Unidos (Weigand, 2008; Weigand *et al.*, 1977), sin embargo, a través de su análisis usando métodos recientes, se ha puesto en duda esa suposición al demostrar que teselas de turquesa de Tenochtitlan y un disco recuperado en una cueva de Puebla no coincidían con la firma geoquímica de alguna fuente conocida en el suroeste de los Estados Unidos (Thibodeau *et al.*, 2018), sugiriendo que las redes de intercambio de turquesas podrían ser diferentes de lo propuesto previamente.

Queda claro, a partir de los documentos etnohistóricos, la importancia del intercambio a larga distancia de muchos bienes, como algodón, sal, esclavos, pieles de bisonte, plumas, corales, y minerales raros como la turquesa (Hallenbeck, 1949; Hammond y Rey, 1977; Obregón, 1928), no obstante, la mayoría de estos materiales son perecederos y no se conservan en el contexto arqueológico. Con la turquesa es posible conocer el depósito específico de donde fue obtenida, o los depósitos relacionados dentro de áreas geográficas discretas (Thibodeau *et al.*, 2012); es por esto que podría considerarse uno de los pocos materiales viables a través del cual reconstruir rutas de intercambio de objetos altamente valorados que, como la obsidiana y el cobre, que se movieron entre 100 y 1 000 kilómetros y, a través de ésta —junto con el resto de evi-

<sup>1</sup> Una muestra de esto está compilada en King *et al.* (2012).

dencia arqueológica— reconstruir patrones de interacción tanto regionales como macrorregionales.

Sociedades mesoamericanas como la azteca, mixteca, tolteca, maya y tarasca, así como los grupos hohokam, mogollón y pueblo del Suroeste de Estados Unidos, otorgaron alto valor a los minerales azul verdosos. Sin embargo, no todos estos materiales son de turquesa.

El término “turquesa” abarca dos conjuntos de materias primas cuyas características corresponden a dos regiones geográficas diferentes, por un lado, está la turquesa “química”, un fosfoaluminato básico de cobre, del Suroeste de Estados Unidos y el Noroeste de México, y la turquesa “cultural” que abarca a una amplia variedad de piedras azules y azul verdosas como la malaquita, azurita, crisocola y amazonita (Weigand, 1993:315; Weigand *et al.*, 1977:16). En diversos contextos arqueológicos de Zacatecas, en la Cuenca de Sayula, el Bajío, Michoacán, Yucatán, Campeche y Chiapas, se han recuperado, mezcladas, turquesas verdaderas (químicas) con otras piedras de esa tonalidad, es decir, turquesa cultural.

Se sabe que los principales depósitos de turquesa de América del Norte y las minas de turquesa prehispánicas se limitan, en gran medida, a los estados norteamericanos de Arizona, Nuevo México, California, Colorado y Nevada, así como a regiones del norte de México. Este hecho ha llevado a numerosos investigadores a plantear largas rutas de comercio desde el Suroeste hasta Mesoamérica y también ha generado discusiones sobre el lugar de manufactura de las piezas.

En los contextos arqueológicos de Sonora su hallazgo no es abundante comparado con otro tipo de materiales, sin embargo, está presente y en algunos casos, como explicaremos más adelante, lo está en cantidades importantes, a pesar de esto, su estudio ha sido limitado, aunque en recientes fechas se le ha puesto mayor atención a este mineral (Hinojo Hinojo *et al.*, 2019; Martínez Ramírez *et al.*, 2020; Melgar Tísoc, 2020; Pailles, 2016a).

El material al que hacemos referencia fue recuperado en contextos funerarios durante los trabajos realizados de 2011 a 2015 en el sitio El Cementerio, en Ónavas, Sonora. Por la gran importancia de este material y por su significado cultural, se hizo necesario determinar, en primer lugar, si se trataba de turquesa química o cultural, a partir de lo cual estar en posibilidad de rastrear el lugar de obtención y, por otra parte, conocer las técnicas empleadas en su manufactura, mediante las cuales sería posible determinar si las piezas llegaron ya manufacturadas a la región o como materia prima, como se ha hecho en otras investigaciones

(Melgar, 2014), bajo el supuesto de que, no necesariamente, el lugar de origen de la materia prima es el lugar de elaboración, ni el lugar de su uso es donde se manufacturaron los objetos.

### La turquesa en el Noroeste

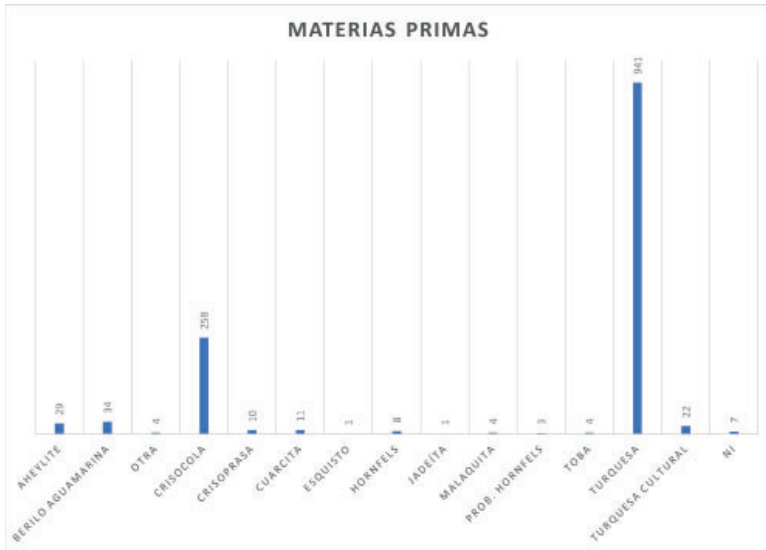
A diferencia de las áreas culturales de Mesoamérica y el Suroeste (norteamericano), pocas son las referencias a los materiales azul verdosos en la literatura científica de la región, quedando su hallazgo registrado mayoritariamente en informes técnicos.

A pesar de lo anterior, como se aprecia en la figura 1, la existencia de estos materiales en los contextos arqueológicos del estado no es poca cosa. Si bien, como dijimos antes, la presencia de estos materiales ha quedado registrada en los informes técnicos de proyectos arqueológicos a cargo del INAH en Sonora que ya no están en activo, y los materiales han sido entregados a la Sección de Arqueología para su custodia y curaduría a través del Proyecto Colecciones Comparativas, a cargo de los arqueólogos Júpiter Martínez y Adriana Hinojo, quienes, en colaboración con el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y el Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía de la UNAM, mediante técnicas como Difracción y Fluorescencia de Rayos X, han caracterizado gran parte de estas piezas azul verdosas (Lozano-Santa Cruz *et al.*, 2021).

A la fecha, existen poco más de 1 300 piezas azul verdoso procedentes de diversos sitios y localidades en el estado; las materias primas identificadas, distintas a la turquesa química son varias, predominando crisocola, berilo aguamarina, ahelyta,<sup>2</sup> cuarcita y crisoprasa; aunque, como se aprecia en la gráfica 1, también están presentes hornfels, malaquita, toba y otras.

Así mismo, gracias a los análisis realizados hasta ahora, se ha hecho evidente que en un mismo sitio no todos los materiales azul verdosos son turquesa química, estando presentes rocas que quedan en la categoría de turquesa cultural. Como en el caso de las 303 piezas que conforman un pectoral asociado a un entierro en el sitio de Tastiota, ubicado en la costa sonorenses (López Dávila, 2010), cuyas teselas fueron elaboradas algunas con turquesa química, pero otras con crisocola, berilo aguamarina, ahelyta, crisoprasa y malaquita. Así como en el sitio Machomoncobe, también ubicado en la costa, donde está presente no solo turquesa química, sino crisocola, cuarcita, berilo aguamarina y otras.

<sup>2</sup> Aunque pertenece al grupo de las turquesas (Lozano-Santa Cruz *et al.* 2021).



GRÁFICA 1. Materias primas identificadas de los objetos azul verdoso en Sonora.

A la fecha no ha habido alguna investigación encaminada, específicamente, a la identificación de las fuentes de estos materiales, excepto el análisis realizado a una pieza procedente del sitio La Cuchilla, ubicado en el valle de Moctezuma (Pailes, 2016a:224). Mediante su análisis a través de espectrometría de masas de isótopos de estroncio (Sr) y plomo (Pb),<sup>3</sup> se determinó que no corresponde a ninguna fuente caracterizada a la fecha, incluidas todas las procedencias de EE. UU. y depósitos cercanos a Cananea, Sonora (Pailes, 2016b).

En el mapa de la figura 1 se puede observar la distribución de los materiales azul verdosos recolectados en el estado, también hemos incluido los reportados por Gordon Ekholm (2008[1942]) y John Carpenter (1996) para el sitio El Ombligo, ubicado en Guasave, Sinaloa; un montículo funerario que no podemos dejar de mencionar debido a su importancia con relación al sitio El Cementerio. En este mapa también se observa la cantidad de material presente en cada sitio y localidad.

<sup>3</sup> Una metodología en desarrollo para la determinación de procedencia de turquesas, propuesta por Alyson Thibodeau *et al.* (2015).

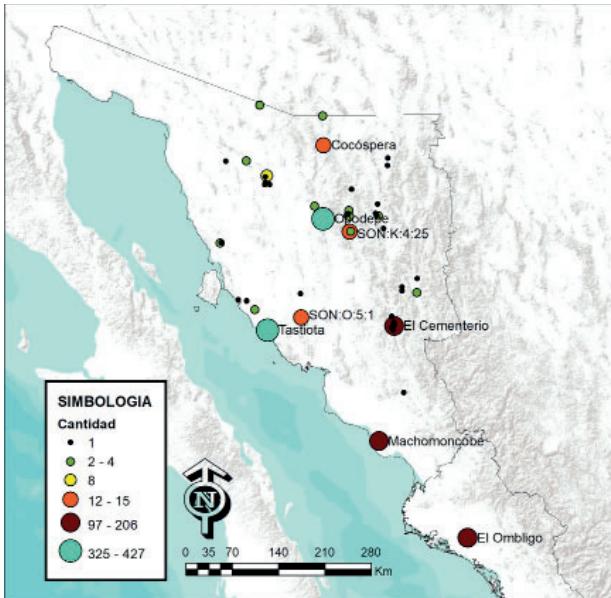


FIGURA 1. Distribución y frecuencia de los objetos azul verdoso en Sonora.

## El Cementerio

El sitio corresponde a un cementerio prehispánico que tiene una extensión aproximada de 9 hectáreas; se ubica en la planicie aluvial del río Yaqui, muy cerca del poblado de Ónavas, al centro-este del estado de Sonora. Se compone de un área principal de enterramientos con una extensión aproximada de 132 m<sup>2</sup> y una profundidad de 1.70 m con las características de un montículo funerario y otras áreas de menor tamaño con cualidades similares.

Las fechas radiométricas obtenidas hasta ahora datan al sitio entre el 897 y el 1635 d.C., es decir, entre los periodos Cerámico Medio y Cerámico Tardío sonorenses (Watson y García M., 2016). Excepto por la presencia de algunas puntas asociadas a los periodos Arcaico Temprano y Medio, desconocemos lo que sucedía en el valle y cómo estaba organizado antes de la fecha más temprana, mientras que la fecha más tardía queda en el rango de la llegada de los misioneros jesuitas al valle en 1622.

Los primeros siglos del uso del montículo funerario coincide con el inicio del abandono de los sitios de la planicie aluvial del

río Mayo (ocupada por grupos Huatabampo desde el 170 d.C.) a causa del desbordamiento de los cauces de los ríos alrededor del 1000 d.C., obligando a esa población a moverse hacia el norte de lo que hoy es Sinaloa (Álvarez Palma, 2001; 2007) ocupando y usando sitios como el montículo funerario de El Ombligo en Guasave (Carpenter, 1996; Ekholm, 2008[1942]).

A lo largo de cinco temporadas de campo y con el apoyo de bioarqueólogos, fueron recuperados 110 elementos mortuorios conteniendo 114 inhumaciones y una cremación secundaria. Se trata de los restos de 24 infantes, 30 niños, 8 adolescentes y 53 adultos de entre 18 y 55 años. Para casi la mitad de la muestra fue posible estimar el sexo, siendo similar la cantidad de mujeres (N=30) y de hombres (N=36).

Una característica importante que presenta el 96% de los individuos en los que se pudo hacer tal observación, es la deformación craneal, ya sea del tipo tabular erecto o tabular oblicuo, aunada al limado dental de los tipos C2 y C5 de acuerdo con la clasificación de Romero (1958, 1970), presente en 13 individuos y dos más con ablación dental. Ambas características se presentan tanto en hombres, como mujeres, notando una ligera preferencia de realizar la deformación tipo tabular oblicuo en mujeres y la tabular erecto en hombres, junto con el limado tipo C2, mientras que dos de las tres mujeres con limado lo presentan del tipo C5.

Si bien en otros espacios ya nos hemos referido a la cultura material del sitio (Valdovinos Pérez y García M., 2017; Watson y García M., 2016), para poner en contexto al lector es importante mencionar que tanto la cerámica como la lítica tallada y pulida son de manufactura local y aparentemente casi exclusiva del valle de Ónavas, esto en referencia a las pocas cerámicas decoradas (7% del total de la muestra) con líneas, bandas, triángulos, puntos y otros sencillos diseños en color púrpura, que hasta el momento solo se han hallado en este valle y algunas similares en el de Sahuaripa (Carpenter *et al.*, 2021).

Entre los materiales no locales presentes en el sitio encontramos cerámicas tipo Huatabampo y Guasave, piezas de joyería manufacturada en concha marina, algunos ejemplares de obsidiana y las piezas color azul verdosas que son el tema de este artículo.

Durante el recorrido realizado por Emiliano Gallaga y su equipo en el valle de Ónavas en 2004 (Gallaga Murrieta, 2006), recuperaron al menos 14 piezas que luego de su análisis con los métodos que describiremos más adelante, 13 resultaron ser turquesa química y calcedonia la pieza restante (Gallaga Murrieta y Melgar Tísoc, 2016). Si bien estos hallazgos son un antecedente

de este trabajo, en esta ocasión solo nos referiremos a los objetos de este material hallados durante la excavación de El Cementerio, y para esto, es necesario hablar de los acompañamientos funerarios encontrados en 46 individuos.

Estos restos óseos los encontramos acompañados ya sea por joyería de concha y turquesa, así como por objetos como fragmentos de metates o cerámica, vasijas cerámicas, puntas de proyectil, un caparazón de tortuga, punzones y herramientas de hueso, o por una combinación de ambos. Sin embargo, hay una mayor cantidad de individuos, principalmente juveniles y particularmente infantes y niños, adornados con joyería sobre todo de concha, la cual tiene gran presencia en el sitio como objetos manufacturados, que en otros espacios ya hemos planteado que, en su gran mayoría, llegaron ya fabricados al valle de Ónavas a través de las redes de intercambio en las que participaban los antiguos onaveños, siendo además, un material de gran importancia para esta comunidad (Villalpando C. *et al.* en prensa).

De las 154 piezas azul verdosas recuperadas durante las excavaciones en el sitio, 130 se encontraron como joyería en nueve individuos menores a siete años, cinco de ellos con deformación craneana; en cuatro casos como único objeto y, en el resto, en conjunto con cuentas de concha. Es decir que, a diferencia de los objetos de concha, que está siendo usada por individuos de todas las edades la turquesa podría decirse que es de uso exclusivo de infantes y niños.

Al día de hoy podemos decir que la comunidad que utilizó este cementerio, fue una sociedad que se desarrolló localmente, pero integró algunos aspectos culturales y bioculturales de grupos costeros Huatabampo/Guasave, como la deformación intencional del cráneo y el limado dental, permitiéndoles mostrar una identidad asociada a grupos de mayor prestigio del Occidente de México, y así legitimar el control político dentro de la comunidad y dentro del sistema de asentamientos del valle (Watson y García M., 2016; 2017). La interacción directa con la costa les permitió, además, participar de las redes de intercambio de materiales de prestigio como la concha (García M., Watson y Phelps, en prensa; Watson y García M., 2016). Estas prácticas se mantuvieron durante los casi 500 años que se ocupó este sitio.

### **Muestras analizadas**

Se analizaron las 154 piezas procedentes de El Cementerio; fueron 134 cuentas, 11 pendientes, cinco incrustaciones, dos fragmentos



de materia prima, una pieza en proceso y un fragmento rectangular (figura 2). El 88% de estas piezas provienen de algún contexto funerario, es decir, se encontraron en directa relación con los restos óseos de algún individuo (cuadro 1).

Artefacto	Contexto		Total
	Funerario	General	
Cuenta	126	8	134
Fragmento		1	1
Materia prima		2	2
Pendiente	4	7	11
Pieza en proceso		1	1
Incrustacion		5	5
Total	130	24	154

CUADRO 1. Procedencia general de las muestras.

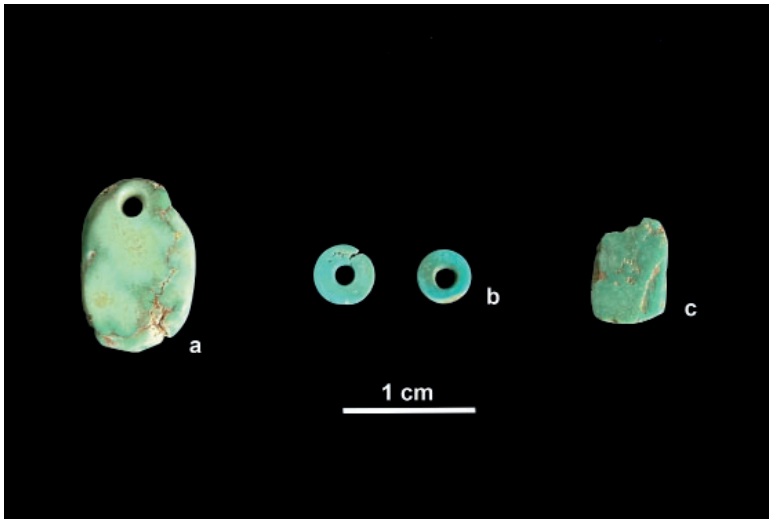


FIGURA 2. Ejemplos de piezas analizadas: pendiente (a), cuentas (b) e incrustación (c).

Las cuentas discoidales (N=114) tienen un diámetro y espesor promedio de 0.40 cm y 0.16 cm respectivamente, el tipo de

perforaciones observadas son bicónica, tubular y cónica. En el caso de las cuentas rueda<sup>4</sup> (N=19), tienen un diámetro promedio de 0.56 cm y espesores que van de los 0.21 cm a 0.48 cm, dos tienen perforación tipo tubular y en el resto es bicónica. La cuenta en proceso tuvo un diámetro de 0.56 cm estando aún ausente la perforación.

Por su parte, los pendientes ovales (N=3) midieron entre 2.14 y 1.24 cm de largo y entre 0.85 y 1.51 cm de ancho, con espesor promedio de 0.30 cm. Los cuadrangulares (N=3) tienen largo y ancho promedio de 0.89 y 0.82 cm, con alrededor de 0.20 cm de espesor; los tres tienen perforación bicónica. En el caso de los tres pendientes triangulares, se encontraron rotos, por lo que desconocemos su tamaño original, sin embargo, tienen un espesor promedio de 0.26 cm; dos de éstos cuentan con dos perforaciones, aunque en ambos la segunda perforación está incompleta; la que está completa en los tres es de tipo bicónica. El rectangular mide 0.93 por 1.77 cm con espesor de 0.22 cm, mientras que el trapezoidal mide 0.86 por 0.61 cm con espesor de 0.16 cm, y tienen perforación bicónica y cónica respectivamente.

En el caso de las incrustaciones, las tres de forma irregular tienen largo y ancho promedio de 0.76 y 0.54 cm con 0.17 cm de espesor, un fragmento rectangular tiene 0.11 cm de espesor, el que está completo es de 1.20 por 0.88 cm y 0.28 cm de espesor; finalmente, la pieza cuadrangular es de 0.51 por 0.46 cm con espesor de 0.30 cm. Varias de estas piezas tienen algún borde, o varios, biselados o redondeados.

La pieza en proceso es de forma irregular y está rota, pero presenta desgaste en toda su superficie, y tiene un espesor de 0.22 centímetros.

Las dos identificadas como materia prima son de forma irregular con 0.94 y 1.30 cm de largo, 0.79 y 1.20 cm de ancho y 0.90 y 0.50 cm de espesor.

Como mencionamos anteriormente, muchas de las piezas de contexto funerario se encontraron en combinación con cuentas y pendientes de concha, solamente en cuatro casos se encontraron como único adorno, en un caso como pieza única y en grupos de 5 a 12 en tres casos; en el cuadro 2 resumimos lo anterior.

<sup>4</sup> Las cuentas discoidales se distinguen porque su espesor es igual o menor a la mitad de su diámetro, mientras que el espesor de las denominadas "rueda" es mayor al radio y no mayor a su diámetro (Suárez Diez, 1971).

<i>Individuo</i>	<i>Adorno</i>	<i>Concha</i>	<i>Azul verdoso</i>	<i>Otro</i>
5	Collar	40 cuentas 17 pendientes	1 pendiente	
13	¿Collar?	1 pendiente		
38	Pulsera izquierda pulsera derecha	15 cuentas 4 cuentas	6 cuentas	
62	Pectoral	Pectoral	2 pendientes	
82	Pulsera derecha	5 cuentas		
91	Collar	5 cuentas		
104	Collar	211 cuentas 17 pendientes	71 cuentas	1 cuenco miniatura
	Pulsera derecha Arete izquierdo	51 cuentas 1 pendiente	27 cuentas	
113	Pulsera derecha		12 cuentas	

CUADRO 2. Piezas azul verdoso en contexto funerario.

## Metodología

Como mencionamos anteriormente, en esta investigación se aplicaron, de forma combinada, análisis encaminados a conocer las materias primas con las que fueron elaborados los objetos azul verdosos, así como los instrumentos de trabajo empleados en su elaboración. A continuación, se describe la metodología empleada para cada uno de los análisis.

## Análisis mineralógico

Para conocer las materias primas se consultaron manuales y colecciones de referencia pertenecientes a los acervos del Museo del Templo Mayor (figura 3) y del Laboratorio de Geología de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRYM). Para confirmar que estos minerales modernos de referencia están bien caracterizados, se hicieron láminas delgadas de los mismos (figura 4a) para ser analizados, en conjunto con el Mtro. Jaime Torres Trejo del Laboratorio de Petrografía de la ENCRYM, mediante un microscopio petrográfico Leica y con la Dra. María Jesús Puy y Alquiza mediante un microscopio Petrográfico Olympus BX41 en el Laboratorio de Investigación y Caracterización de Materiales y Minerales (LICAMM) de la Universidad de Guanajuato. En este último también se hizo Difracción de Rayos X

con un difractómetro Rigaku Ultima IV, el cual permite conocer la estructura y fases cristalinas del material de referencia analizado, en este caso turquesa (figura 4b).



FIGURA 3. Ejemplos de muestras de turquesas empleadas como referencias.

Las identificaciones mineralógicas en las muestras de referencia sirvieron para reforzar y ratificar los resultados en las piezas arqueológicas a través de dos técnicas no destructivas empleadas específicamente para este estudio, Microsonda de Rayos X (EDS)<sup>5</sup> y Espectroscopía Micro-Raman ( $\mu$ Raman). Este punto es importante a destacar, ya que se pudo analizar a detalle una gran cantidad de objetos lapidarios sin dañarlos.

Con el análisis de la Microsonda de Rayos X o Espectroscopía de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS), es posible obtener información sobre la composición elemental de manera semicuantitativa (% en peso y % atómico) de las piezas a través de detectores de rayos X. Con ello se pueden identificar los elementos químicos, con número atómico mayor a 5 (Boro), de la tabla periódica, presentes en las piezas, gracias a la detección de la energía resultante de la transición de los electrones excitados de cada átomo al ser ionizados por el haz primario de electrones (Melgarejo *et al.*, 2010). Para el análisis se emplearon electrones retrodispersados (BES) con un tiempo de adquisición de 120 segundos.<sup>6</sup>

Por su parte, la Espectroscopía Micro-Raman permite determinar la presencia de un mineral o compuesto en general a partir de un haz de láser verde (de 532 nm) que interactúa con las muestras, cuya dispersión inelástica de fotones, llamada efecto Raman

<sup>5</sup> Este equipo marca INCA se encuentra en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del INAH.

<sup>6</sup> Este análisis se realizó con el apoyo técnico del Mtro. Mario Monroy, encargado de la operación del equipo.

en honor a su descubridor, el hindú Venkata Raman, produce espectros vibracionales a partir de una emisión luminosa característica de los materiales que integran la región analizada (Edwards y Faria, 2004). Para esta técnica se empleó el equipo de Micro-Raman, modelo Thermo Scientific DXR del Laboratorio de Materiales Avanzados del Instituto de Física de la UNAM, con apoyo de la Mtra. Cristina Zorrilla Cangas. Todas las piezas se observaron a 20 y 50x, apertura de 50  $\mu\text{m}$  slit, 6.6 mW, con un intervalo espectral de 0 a 3 500  $\text{cm}^{-1}$  y un tiempo de adquisición de 10 repeticiones de 10 segundos. Los espectros obtenidos se procesaron con el programa OMNIC<sup>®</sup>.

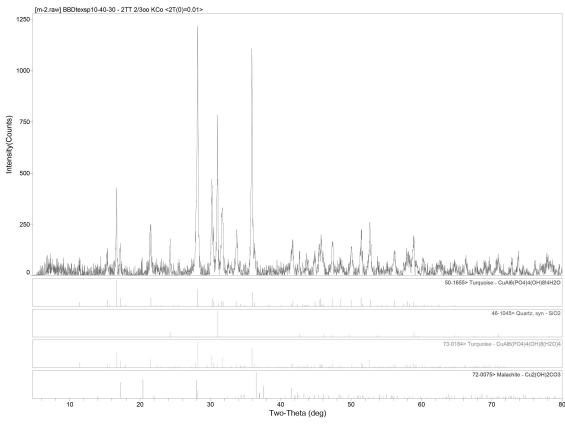


FIGURA 4. Ejemplo de lámina delgada (a) y difractograma (b) de turquesa empleada como referencia.

### Análisis tecnológico

Para analizar los objetos lapidarios nos hemos apoyado en la arqueología experimental. Según dicha corriente, en las sociedades humanas toda actividad se encuentra normada, por lo cual los artefactos son usados o producidos de acuerdo con esquemas determinados, que les proporcionan características específicas. Ello implica que la elaboración o utilización de objetos similares, siguiendo los mismos patrones, dejará rasgos característicos y diferenciables entre sí (Ascher, 1961; Binford, 1991; Velázquez, 2007, Petrequin y Petrequin, 2016). Con ello en mente, en el Taller de Arqueología Experimental de Lapidaria del Templo Mayor se han reproducido los diferentes tipos de modificaciones que presentan los objetos (figura 5): desgastes, cortes, perforaciones, incisiones, calados y acabados; partiendo de diversas fuentes de información histórica (Sahagún, 1956), de propuestas de investigación (Mirambell, 1968) y de datos arqueológicos (Melgar y Mathien, 2020). Así, se han empleado los instrumentos y procesos de trabajo que es posible suponer que fueron utilizados por los distintos grupos prehispánicos (cuadro 3).



FIGURA 5. Arqueología experimental en lapidaria: desgaste de turquesa con riolita (a) y corte de turquesa con obsidiana (b).

Una vez realizado cada experimento, las huellas de manufactura resultantes se compararon, tanto macroscópica como microscópicamente, con las piezas de El Cementerio. Para la caracterización de las huellas de manufactura se tomaron en cuenta las siguientes variables: la descripción de las características superficiales de la pieza, como rugosidad, alisamiento, irregularidad, porosidad y presencia partículas. También la descripción de los rasgos presentes en la muestra, ya fueran líneas, bandas o texturas.

<i>Modificación</i>	<i>Materiales</i>
Desgaste de superficies	Basalto, andesita, dacita, riolita, arenisca, caliza, pizarra y granito, adicionando agua y ocasionalmente arena
Cortes	Instrumentos líticos de pedernal, obsidiana, pizarra y madera petrificada. Arena, agua y tiras de piel o cuerdas vegetales de ixtle y he-nequén
Perforaciones	Abrasivos (arena, ceniza volcánica, polvo de obsidiana, polvo de pedernal, polvo de selenita), animados con ramas de carrizo, adicionando agua. Instrumentos líticos de pedernal, obsidiana, cuarzo y madera petrificada. Espinas de origen animal (puercoespín) y vegetal (biznaga). Instrumentos de hueso
Calados	Abrasivos (arena, ceniza volcánica, polvo de obsidiana y polvo de pedernal), animados con ramas de carrizo de gran diámetro y agua. Instrumentos líticos de pedernal y obsidiana
Incisiones	Instrumentos líticos de pedernal y obsidiana
Acabados	Pulido con abrasivos (arena, ceniza volcánica, polvo de obsidiana, polvo de pedernal, polvo de cuarzo, hematita), agua y trozos de piel. Pulido con nódulos de pedernal, arenisca, jadeíta, hematita y corindón. Bruñidos con trozos de piel en seco. La aplicación de ambos acabados

CUADRO 3. Materiales empleados en cada modificación.

Así, los niveles de observación fueron los siguientes (Melgar, 2021): simple vista, con lupa de 10x, microscopio óptico Leica MZ6 con cámara digital acoplada a 10x y 30x; microscopio digital Dinolite a 10x, 30x y 50x,<sup>7</sup> y con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) Jeol JSM-6460LV a 100x, 300x, 600x y 1000x.<sup>8</sup>

## Resultados

A partir del empleo de EDS y  $\mu$ Raman fue posible identificar que 148 piezas son de turquesa química.

La turquesa es un fosfoaluminato básico de cobre cuya fórmula química es  $\text{Cu}(\text{Al}_6\text{Fe})(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8(4\text{H}_2\text{O})$ . Su estructura

<sup>7</sup> Ambos ubicados en el Museo del Templo Mayor.

<sup>8</sup> Ubicado en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del INAH.

crystalina es triclinica con una fractura concoidal y una dureza de 5 a 6 en la escala de Mohs (Lowry y Lowry, 2002).

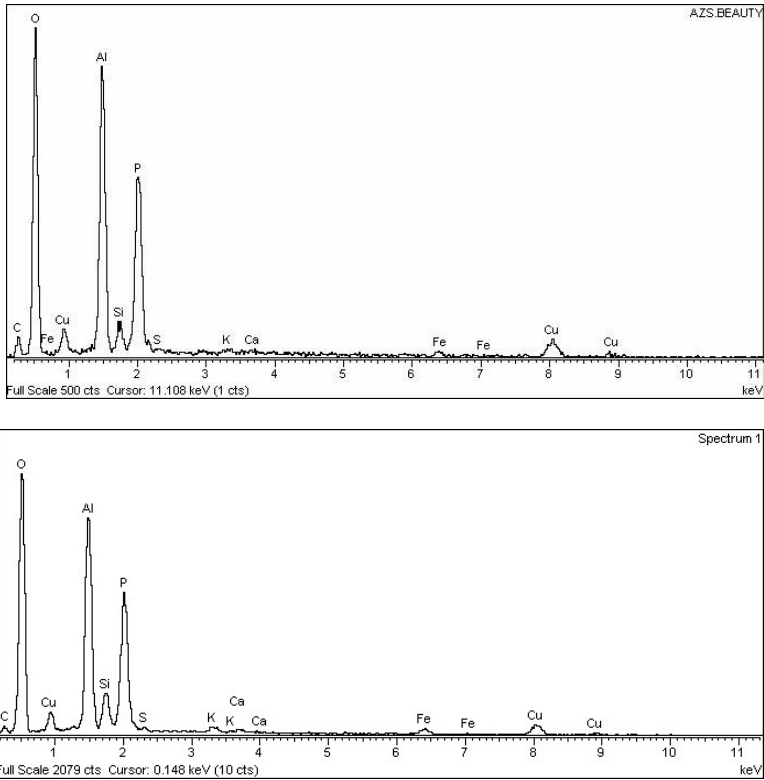


Figura 6. Análisis de turquesas con EDS: muestra de referencia (a) y pieza de Ónavas (b).

En los análisis con EDS de las muestras de referencia y en las piezas arqueológicas se aprecian los elementos que conforman este mineral (figura 6), como son aluminio (Al), oxígeno (O), fósforo (P) y cobre (Cu), así como pequeñas cantidades de silicio (Si), hierro (Fe), potasio (K) y calcio (Ca), entre otros. Con  $\mu$ Raman se confirmó la turquesa en las piezas arqueológicas al observarse un pico muy marcado en  $1040\text{ cm}^{-1}$ , el cual indica los enlaces de fosfatos  $\text{PO}_4$ , así como una serie de picos y valles entre  $100$  y  $700\text{ cm}^{-1}$  (figura 7) que señalan los distintos enlaces del aluminio y del cobre con oxígeno e hidróxidos, como los espectros Raman que han sido publicados por otros investigadores sobre turquesas del



noroeste de México/suroeste de los Estados Unidos (Frost *et al.*, 2006; Čejka *et al.*, 2015).

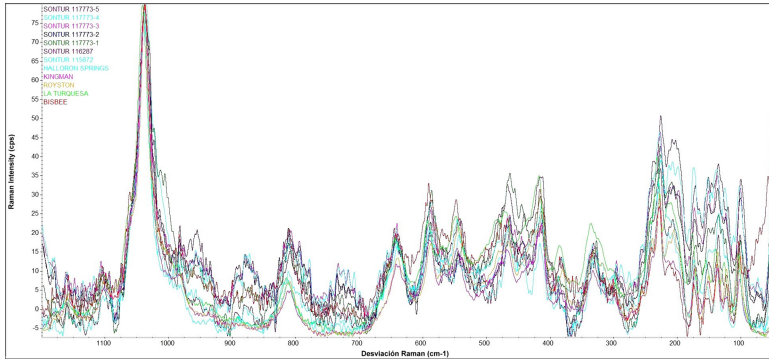


Figura 7. Análisis de turquesas con  $\mu$ Raman: traslape de resultados de piezas de Ónavas con turquesas de referencia.

En las piezas de El Cementerio también se detectaron cinco que no presentaron la composición química de la turquesa, en especial dos no tenían cobre (Cu) y ninguna tuvo fósforo (P). Una incrustación (B-116031) presentó una composición donde predomina el silicio (Si) y oxígeno (O) (figura 8a), con algunos elementos menores similares a los dióxidos de sílice como cuarzos, pedernales y calcedonias. Las dos piezas clasificadas como materia prima presentaron oxígeno (O), silicio (Si), cobre (Cu), aluminio (Al) y calcio (Ca), además de otros elementos menores (figura 8b) parecidos a la crisocola. Finalmente, dos piezas de color blanco y café, identificadas como incrustaciones, presentaron Silicio (Si), Oxígeno (O), Aluminio (Al) y Potasio (K), sin embargo, no fue posible identificar de qué roca o mineral se trataba.

Al comparar en una gráfica de componentes principales las composiciones químicas de todas las piezas de Ónavas con yacimientos de turquesa de referencia, se aprecia una tendencia a la agrupación de estos objetos que casi se traslapan con otras muestras de Sonora, Arizona y Nuevo México (gráfica 2), pero también se alejan del grupo, hacia el extremo derecho, las piezas que no fueron turquesas, como las incrustaciones blanca y café (B-3377A), así como el probable dióxido de sílice (B-116031). En cambio, los fragmentos de materia prima con cobre (B-525 y B-98852) son más cercanos al resto de la colección.

Al graficarlos en grupos por distancia euclidiana, se pudo apreciar que algunos conjuntos de piezas son cercanos a otras

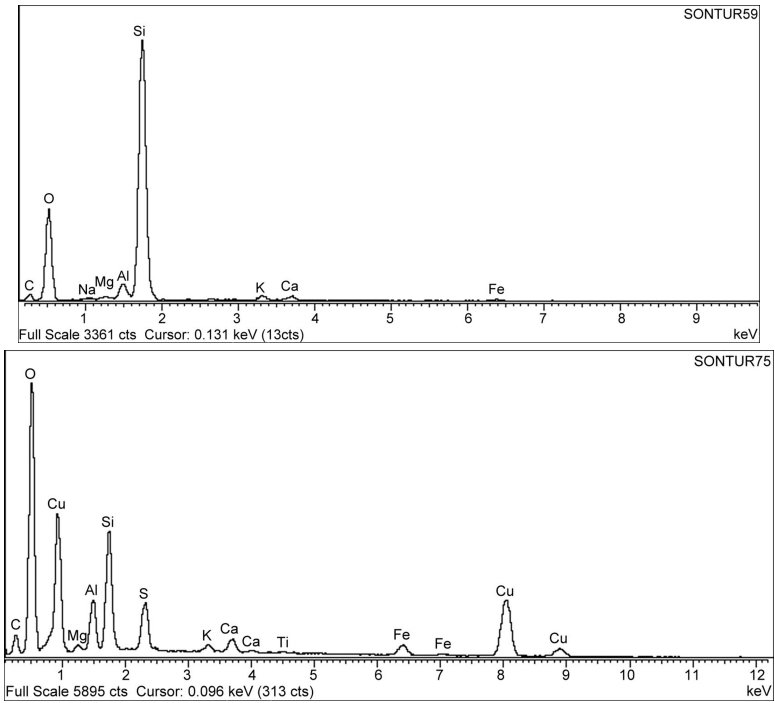
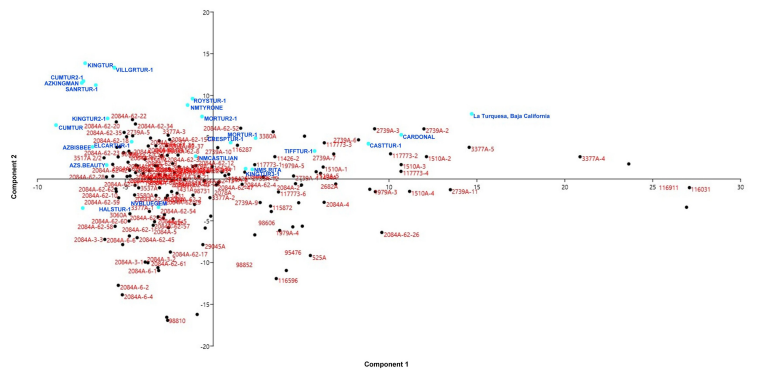
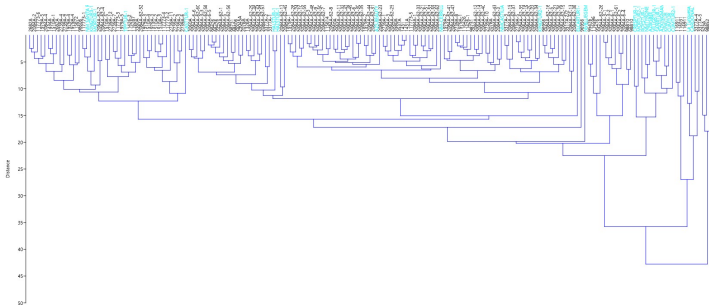


FIGURA 8. Pieza similar a un dióxido de sílice (a) y fragmento parecido a crisocola (b)

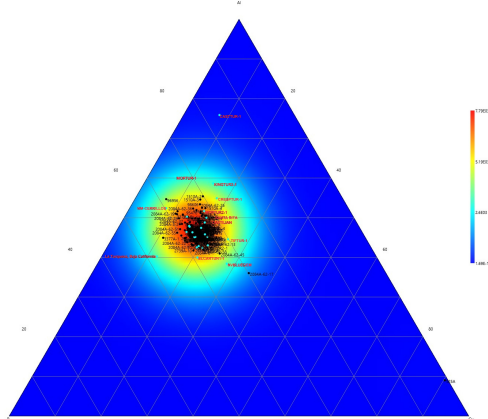


GRÁFICA 2. Componentes principales de piezas de Ónavas (en rojo) comparadas con turquesas de referencia (en azul).

muestras analizadas de Sonora, Arizona y Nuevo México (gráfica 3). Finalmente, en la gráfica ternaria de los elementos más importantes que conforman las turquesas (aluminio, fósforo y cobre), nuevamente se aprecia una gran concentración de las turquesas de Ónavas intercaladas con muestras de Sonora, Arizona y Nuevo México (figura 11).



GRÁFICA 3. Conjuntos de piezas de Ónavas (en negro) con muestras de referencia de turquesa (en azul), obtenidos por distancia euclidiana.



GRÁFICA 4. Triángulo ternario de Aluminio (Al), Fósforo (P) y Cobre (Cu) de las piezas de Ónavas (puntos negros) comparadas con turquesas de referencia (puntos azules).

## Huellas de manufactura

Respecto al análisis de huellas de manufactura de los objetos lapidarios de Ónavas se obtuvieron los siguientes resultados.

En los desgastes de las 148 piezas de turquesa se aprecian las superficies aplanadas y lustrosas con varios rayones entrecruzados (figura 9a), producto de la aplicación de desgastes con arena y bruñido con piel (figura 9b). Con MEB se observaron bandas rectas paralelas y/o entrecruzadas de 10  $\mu\text{m}$  de espesor (figura 9c), que coinciden con los desgastes experimentales hechos con laja de arena y bruñido con piel (figura 9d).

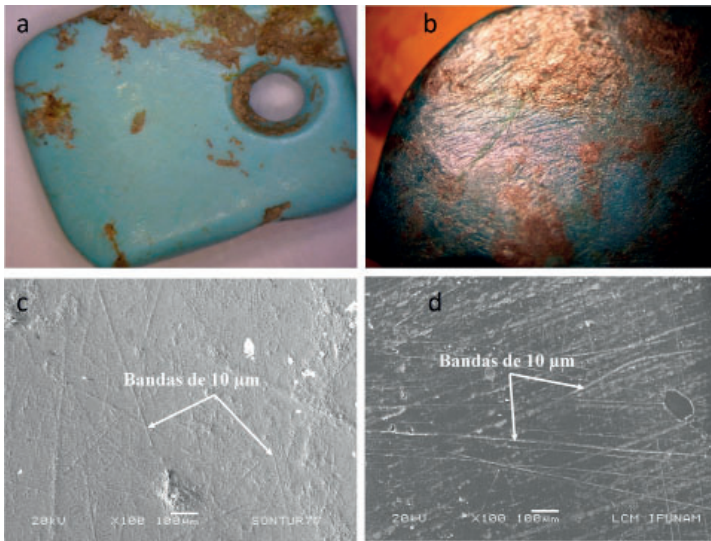


FIGURA 9. Análisis de superficies: piezas arqueológicas de Ónavas a 10x (a) 100x (c), comparadas con el desgaste experimental con arena y bruñido con piel a 10x (b) y 1000x (d).

En los bordes de estas piezas se observaron los mismos rayones finos de las superficies que miden 10  $\mu\text{m}$  de espesor (figura 10), resultado de regularizar las paredes a través de desgastes experimentales hechos con laja de arena.

Respecto a las perforaciones, con mo se observan rayones circulares concéntricos en las horadaciones (figura 11a), producto del empleo de buriles o lascas aguzadas (figura 11b). Al revisarlas con MEB estos rasgos miden entre 2 y 4  $\mu\text{m}$  de ancho (figura 11c), los cuales son similares a las realizadas de forma experimental con pedernal (figura 11d).

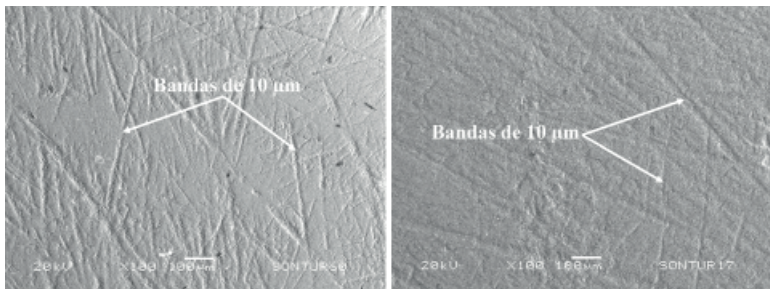


FIGURA 10. Bordes de piezas arqueológicas de Ónava a 100x, cuyos rasgos son similares a los desgastes experimentales con arenisca.

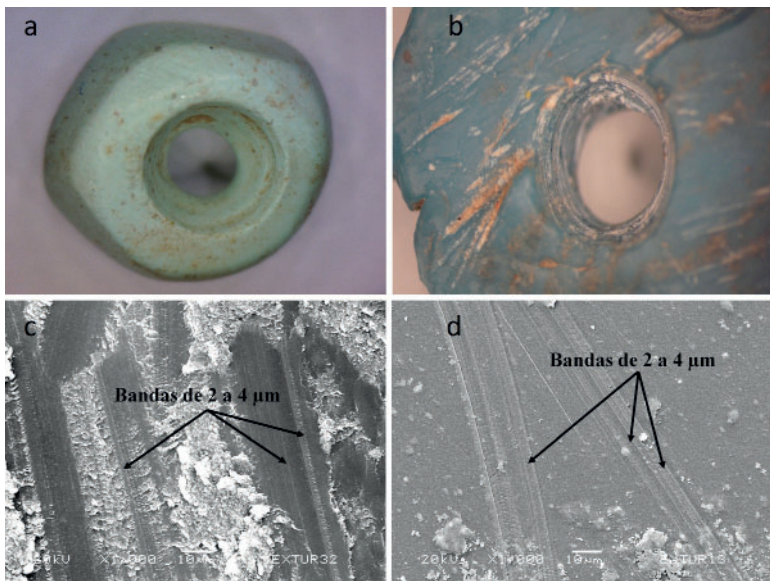


FIGURA 11. Análisis de perforaciones: cuenta arqueológica de Ónava a 10x (a) y 1000x (c), comparada con la horadación hecha con buril de pedernal a 10x (b) y 1000x (d).

Cabe señalar que la incrustación que podría ser dióxido de sílice (116031), presentó superficies y bordes con rayones de 10 µm de espesor (figura 12), similares a los desgastes con lajas de arenisca ya referidos anteriormente. En cambio, los dos fragmentos irregulares con cobre (materia prima), así como las piezas blanca y café, no presentaron huellas de trabajo.

## Discusión

Al igual que en las piezas analizadas por Gallaga Murrieta y Melgar Tísoc (2016), entre las 154 piezas analizadas esta ocasión, cinco no son turquesa química, es decir, que alrededor del 3% del total de piezas identificadas en El Cementerio quedan en la categoría de turquesa cultural. Aunque no todas las piedras azul verdosas encontradas en los sitios del estado han sido caracterizadas por métodos geoquímicos o petrográficos, de las identificadas, poco menos del 30% no son turquesa química; a este respecto resulta importante mencionar que la turquesa química es mucho más común que en el resto de los sitios de Sonora. Esta presencia de turquesa química y cultural en un mismo sitio sigue el mismo patrón que en las áreas culturales de Mesoamérica y el Occidente de México.

Un tema importante ha sido determinar la procedencia de los artefactos, como ya mencionamos, en el caso de la turquesa, ha sido un tema recurrente en la investigación arqueológica utilizando métodos arqueométricos. A partir de los resultados obtenidos por Lozano-Santa Cruz *et al.* (2021), ellos sugieren que el color verde-azul en los minerales puede estar dado por el cobre, mientras que, en las rocas, por minerales de diópsido, clorita y epidota; partiendo de esto, sitúan los principales sectores de yacimientos de pórfidos cupríferos de Sonora y las principales minas productoras de cobre (Cananea y La Caridad) y observan que no hay proximidad de éstos con los sitios de procedencia del material analizado. Sin embargo, asumiendo que la turquesa se está obteniendo y trabajando por el mismo grupo que la está consumiendo, ¿por qué limitar la obtención de la materia prima a una fuente cercana? Además de que la cercanía a una fuente no es condición para que sea ésa la que haya sido explotada ya que, por diversas razones, pudo haber habido una predilección por el material de una fuente en específico; un ejemplo de lo anterior es lo encontrado por Matthew Pailes respecto a la obsidiana, en donde, a pesar de la cercanía (entre ellas) de dos fuentes de este material ubicadas en la Sierra Madre (Selene y Agua Fría), en los valles de Fronteras, Sahuaripa, Sonora y Moctezuma, se utilizaron materiales de distintas fuentes, algunas desconocidas hasta el momento, pero en todos hubo materiales procedentes de Selene en una relación de entre 30% y 40% del total de material analizado para cada valle; en el valle de Moctezuma la proporción es del 80% de materiales procedente de esta fuente (Pailes, 2021).

Debido a que dentro de una misma fuente puede haber variabilidad, nos enfrentamos a una cuestión importante:



¿tenemos información de todas las fuentes posibles y la variación interna en cada yacimiento? La realidad es que en el caso de la turquesa, muchas de las posibles fuentes en territorio sonoreño aún no están caracterizadas. Sin embargo, se están dando los primeros pasos para caracterizar las materias primas con que fueron elaborados estos materiales azul verdosos y poder ubicar las fuentes de procedencia de la turquesa química.

Con esta información estaremos en mejores condiciones de plantear hipótesis sobre su obtención, consumo, su importancia y sobre las formas en que se dieron las relaciones de intercambio al interior de esta gran región y con otras regiones. Aún con estas limitantes, la comparación de las turquesas de El Cementerio con los yacimientos de referencia permitió apreciar una gran concentración de objetos que se intercalan con algunos yacimientos ubicados en Sonora, Arizona y Nuevo México. Si bien estos datos son útiles, aún se requieren análisis complementarios que permitan precisar los lugares de origen geológico, en especial a través de los análisis con isótopos estables.

Referente al uso de estos materiales en el valle de Ónavas, mencionamos que los objetos asociados a los individuos enterrados en El Cementerio son mayoritariamente adornos personales manufacturados en conchas, caracoles y turquesas que incluyen aretes, collares y pulseras entre los menores de 15 años y narigueras, tobilleras y pectorales entre los adultos. Entre quienes tienen adornos, destacan nueve infantes y niños enterrados con adornos que incluyen turquesas, es decir que, solo a los menores de 7 años se les dio la oportunidad de incluir este material en sus adornos.

La elección de incluir joyería al momento del enterramiento de un individuo la hemos interpretado (García-Moreno *et al.*, 2021) como una forma de mostrar/perpetuar la identidad de éste en el más allá. El uso de la turquesa, creemos, era restringido, y se usó quizá para reflejar un rango social o una diferencia de linaje dentro de la comunidad; alternatively, al no estar presente en ningún adulto, podría estar marcando un estatus social previo a la adolescencia.

En cuanto a los resultados tecnológicos, las técnicas de manufactura identificadas en las piezas de turquesa difieren del patrón tecnológico observado en la lapidaria de sitios de la cultura Chalchihuites en Zacatecas, como Pajones, El Bajío, Cerro Moctehuma (Melgar *et al.*, 2014) y Alta Vista (Melgar, 2014). En cambio, las piezas comparten las técnicas empleadas en la lapidaria de varios sitios del Suroeste de los Estados Unidos,

en particular, los desgastes con tabletas de areniscas llamadas *lapidary abraders* (Melgar, 2014; 2021).

Así mismo, de las cinco piezas que no fueron turquesa, los dos fragmentos irregulares de probable crisocola, la cuarcita y la pieza café, no presentaron huellas de trabajo, mientras que las dos calcedonias azules comparten las mismas huellas e instrumentos de trabajo identificados en las turquesas, es decir, desgastes con arenisca, bruñidos con piel y perforaciones con polvo de pedernal.

Por lo anterior, a primera vista, podríamos inferir algún tipo de interacciones de los pobladores de Ónavas con grupos del Suroeste de los Estados Unidos, donde se han reportado evidencias de producción de lapidaria en turquesa en varios contextos de Chaco Canyon y Grasshopper Pueblo, entre otros (Melgar, 2021; Melgar y Mathien, 2020).

Sin embargo, en el sitio no se ha encontrado evidencia que sugiera algún tipo de relación con el Suroeste, por lo que, si existió, pudo haber sido indirecta. Empero, es innegable que es necesario contar con esta misma información sobre las piezas de otros sitios con los que sí podemos sustentar, con otro tipo de evidencia, algún grado de relación con El Cementerio, tal es el caso de Machomoncobe y El Ombligo en Sinaloa. Así como sería recomendable revisar la lítica del sitio para cotejar si existen, o no, estos instrumentos de trabajo y discutir su manufactura local o foránea.

Para finalizar, este estudio ofrece nueva información sobre la composición química de las piezas de joyería que acompañaron a niños e infantes en su última morada. Así como también sobre la tecnología empleada en la elaboración de las piezas de turquesa y otros materiales recuperados en Ónavas, contribuyendo a esbozar la geografía de las técnicas de manufactura prehispánicas. Su comparación con más colecciones y lugares de producción permitirá rastrear, con mayor precisión, la filiación cultural de estos objetos lapidarios.

## Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin la participación de los integrantes del "Proyecto de estilo y tecnología de los objetos lapidarios en el México Antiguo": Reyna Solís, Hervé Monterrosa, Viridiana Guzmán, Édgar Pineda, Francisco Macedo, Andrea Pérez, Laura Carrillo, Angy Domínguez y Adriana Soto. También de los laboratorios que apoyaron este estudio y sus responsables: Mario Monroy del Laboratorio de Microscopía Electrónica del



INAH, Jaime Torres del Laboratorio de Geología y Petrografía del ENCRYM, María Jesús Puy del LICAMM de la Universidad de Guanajuato, Cristina Zorrilla del Laboratorio de Materiales Avanzados del Instituto de Física de la UNAM. Gracias al acceso a esos equipos pudimos elaborar las gráficas de composición química y molecular de las piezas y su comparación con muestras de referencia.

Así mismo, agradecemos a las y los integrantes de la Sección de Arqueología del Centro INAH Sonora, quienes compartieron información detallada sobre las piezas azul verdosas recuperadas durante sus proyectos, información con la cual creamos el mapa y las gráficas de frecuencias que aquí presentamos: Adriana Hinojo Hinojo, Júpiter Martínez Ramírez, Elisa Villalpando Canchola, V. Hugo Ferrusca García, Adrián López Dávila, John Carpenter, Guadalupe Sánchez Miranda y Eréndira Contreras Barragán.

## Referencias

Álvarez Palma, Ana María

2001 Ciclos productivos y patrón de asentamiento en un sitio Huatabampo del sur de Sonora. *Arqueología* (26): 90-100.

2007 Reinterpretando Huatabampo. En *Memoria del Seminario de Arqueología del Norte de México*, editado por Cristina García M. y Elisa Villalpando, pp. 99-114. Centro INAH-Sonora, Conaculta, INAH, Hermosillo, Sonora.

Ascher, Robert

1961 Experimental Archaeology. *American Anthropologist* 63(4):93-816.

Binford, Lewis R.

1991 *Bones, Ancient Men, and Modern Myths*. Academic Press, Londres.

Carpenter, John

1996 El Ombligo en la Labor: Differentiation, Interaction and Integration in Prehispanic Sinaloa, Mexico. Tesis de doctorado, Department of Anthropology, The University of Arizona, University Microfilms, Ann Arbor.

Carpenter, John, Guadalupe Sánchez, Patricia Olga Hernández Espinoza, Claudia Elena León Romero, Andrew R. Krug, Alejandra Ábrego Rivas, Steven Shackley y Matthew Pailes

2021 Recent Research in the Sahuaripa region of Sonora, Mexico. *Kiva* 87(4):461-485.

Čejka, Jiří, Jiří Sejkora, Ivo Macek, Radana Malíková, Lina Wang, Ricardo Scholz, Yunfei Xi y Ray L. Frost

2015 Raman and infrared spectroscopic study of turquoise minerals. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 149:173-182.

Edwards, H. G. M. y Dalva L. A. de Faria

2004 Infrared, Raman Microscopy and Fibre Optic Raman Spectroscopy. En *Non Destructive Microanalysis of Cultural Heritage Materials*, editado por K. Janssens y R. Van Grieken, pp. 359-395. Elsevier, Amsterdam.

Ekholm, Gordon F.

2008[1942] *Excavaciones en Guasave Sinaloa*. Los Once Ríos. Siglo XXI Editores, El Colegio de Sinaloa, INAH, México.

Frost, Ray L., B. Jagannadha Reddy, Wayde N. Martens y Matt Weier

2006 The molecular structure of the phosphate mineral turquoise, a Raman spectroscopic study. *Journal of Molecular Structure* 788:224-231.

Gallaga Murrieta, Emiliano

2006 An Archaeological Survey of the Onavas Valley, Sonora, Mexico: A Landscape of Interactions During the Late Prehispanic Period. Tesis de Doctorado, The University of Arizona, University Microfilms, Ann Arbor.

Gallaga Murrieta, Emiliano, y Emiliano Melgar Tísoc

2016 Las turquesas del valle de Ónavas: Análisis y resultados. En *Sociedades mineras en América Latina*, Tomo I, editado por Abel Rodríguez López, pp. 110-127. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México.

García-Moreno, Cristina, Patricia Olga Hernández Espinoza y James T. Watson

2021 Childhood and Identity Acquisition in the Late Prehispanic Ónavas Valley, Sonora, Mexico. *Childhood in the Past* 14(1):38-54.

García-Moreno, Cristina, James T. Watson y Danielle Phelps

(en prensa). Selective Influence of West Mexico Cultural Traditions

in the Onavas Valley, Sonora, Mexico. En *Reassessing the Aztatlán World: Ethnogenesis and Cultural Continuity in Northwest Mesoamerica*, editado por M. D. Mathiowetz y J. M. D. Pohl. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah.

Hallenbeck, Cleve

1949 *The journey of Fray Marcos de Niza*. University Press in Dallas, Dallas, Texas.

Hammond, George P., y Agapito Rey

1977 *Narratives of the Coronado Expedition, 1540-1542*. AMS Press, Nueva York.

Hinojo Hinojo, Adriana, Júpiter Martínez Ramírez, Amanda G. Ríos Alvarado, Alejandra M. Gómez Valencia, Daniela Rodríguez Obregón, L. A. Rojo Méndez, E. M. Najar Cantú, Jesús R. Vidal Solano, R. Lozano-Santa Cruz, A. A. Orcí Romero, R. Vega Granillo y D. Meza Figueroa

2019 *Proyecto Colecciones comparativas de los materiales arqueológicos bajo custodia del Centro INAH Sonora*. Informe Técnico 2017-2018. Informe técnico. Archivo de la Coordinación Nacional de Arqueología, INAH, Ciudad de México.

King, J.C.H., Max Carocci, Caroline Cartwright, Colin McEwan y Rebecca Stacey (editores)

2012 *Turquoise in Mexico and North America: Science, Conservation, Culture and Collections*. Archetype Publications, Londres.

López Dávila, Adrián

2010 Informe final del proyecto Salvamento Arqueológico Líneas de Transmisión Eléctrica San Nicolás, Bahía Kino, Tastiota. Costa Central de Sonora. Informe técnico. Archivo Técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología, INAH, Ciudad de México.

Lowry, Joe Dan y Joe P. Lowry

2002 *Turquoise Unearthed. An Illustrated Guide*. Rio Nuevo Publishers, Tucson.

Lozano-Santa Cruz, Rufino, Alejandra M. Gómez Valencia, Jesús R. Vidal Solano y Adriana Hinojo Hinojo

2021 Contribución geoquímica para la clasificación de objetos arqueológicos de tonalidad verde-azul en Sonora. Ponencia presentada en Seminario de Arqueología e Historia del Norte de México, en línea.

Martínez Ramírez, Júpiter, Adriana Hinojo Hinojo, Amanda G. Ríos Alvarado, L. A. Rojo Méndez, Alejandra M. Gómez Valencia, Jesús R. Vidal Solano, R. Lozano Santa Cruz, A. A. Orcí Romero, D. Meza Figueroa y R. Vega Granillo

2020 Proyecto Colecciones comparativas de los materiales arqueológicos bajo custodia del Centro INAH Sonora. Informe Técnico 2019. Informe técnico. Archivo de la Coordinación Nacional de Arqueología, INAH, Ciudad de México.

Melgar Tísoc, Emiliano

2014 Comercio, tributo y producción de las turquesas del Templo Mayor de Tenochtitlan. Tesis de Doctorado en Antropología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

2020 Informe del Análisis Mineralógico y Tecnológico de la Lapidaria del Valle de Ónavas, Sonora. Informe técnico. Archivo del Proyecto Arqueológico Sur de Sonora, INAH, Hermosillo, Sonora.

2021 The Manufacturing Traces of the Turquoise Objects from Mesoamerica and the American Southwest: A Technological Comparison. En *Engaged Archaeology in the Southwest/Northwest*, editado por Kelley Hays-Gilpin, Sarah Herr y Patrick Lyons, pp. 381-403. University of Colorado Press, Boulder, Colorado.

Melgar Tísoc, Emiliano, José Luis Ruvalcaba Sil, Kilian Laclavetine, Estela Martínez Mora y Guillermo Córdova Tello

2014 Procedencia y manufactura de las turquesas de Pajones, El Bajío y Cerro Moctehuma, Chalchihuites, Zacatecas. En *Tiempo y Región: Estudios Históricos y Sociales VII*, editado por Carlos Viramontes, pp. 191-221. INAH, Universidad Autónoma de Querétaro, Municipio de Querétaro, Querétaro.

Melgar Tísoc, Emiliano y Joan Frances Mathien

2020 Production Marks on Turquoise Objects and Lapidary Technology at Chaco Canyon: An Experimental Archaeology Approach. En *A taste for green. A global perspective on ancient jade, turquoise and variscite exchange*, editado por Ramón Fábregas, Ben Nelson y Carlos Rellán, pp. 1-20. Oxbow Books, Oxford.

Melgarejo, J. C., J. Proenza, S. Gali, S. y X. Llovet

2010 Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica*

*Mexicana* 62(1):1-23.

Mirambell, Lorena

1968 *Técnicas lapidarias prehispánicas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Obregón, Baltasar de

1928 *Obregón's history of 16th century explorations in western America, entitled chronicle, commentary, or relation of the ancient and modern discoveries in New Spain and New Mexico, Mexico, 1584*. Traducido por George P. Hammond, y Agapito Rey, Vol. 2 p. 1, vii-xxxiv, pp., 1 l., 351 pp. Wetzel Publishing Co. Inc., Los Angeles, California.

Pailes, Matthew C.

2016a *Archaeology of the Sierra Madre Occidental: Research in the Moctezuma Valley of Eastern Sonora, Mexico*. Arizona State Museum Archaeological Series, Vol. 212. Arizona State Museum, The University of Arizona, Tucson, Arizona.

2016b Exchange economies of late prehistoric eastern Sonora, Mexico: A re-evaluation based on provenance data analyses. *Journal of Field Archaeology* 41(5):587-602.

2021 Métodos para determinar procedencia en la reconstrucción de patrones de intercambio en la Sierra Madre Occidental. Ponencia presentada en Seminario de Arqueología e Historia del Norte de México, en línea.

Petrequin, P. y A.M. Petrequin

2016 The production and circulation of alpine jade axe-heads. En *The Intangible Elements of Culture in Ethnoarchaeological Research*, editado por S. Biagetti y F. Lugli, pp. 47-76. Springer, Roma.

Romero, Javier

1958 *Mutilaciones dentarias prehispánicas de México y América en general*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

1970 Dental Mutilation, Traphanation, and Cranial Deformation. En *The Handbook of Middle American Indians*, Vol. 9, editado por T. D. Stewart, pp. 50-67. University of Texas Press, Austin.

Sahagún, Fray Bernardino de

1956 *Historia General de las Cosas de la Nueva España*. Porrúa, México.

Suárez Diez, Lourdes

- 1971 Técnicas de manufactura y tipología del material de concha encontrado en la Presa Presidente Adolfo López Mateos (Michoacán, Guerrero). Tesis de Licenciatura en Arqueología. Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Thibodeau, Alyson, J. T. Chesley, Joaquin Ruiz, David Killick y Arthur Vokes

- 2012 An alternative approach to the prehispanic turquoise trade. *Turquoise in Mexico and North America: Science, Conservation, Culture and Collections*, pp. 65-74.

Thibodeau, Alyson, David Killick, Saul Hedquist, John Chesley y Joaquin Ruiz

- 2015 Isotopic Evidence for the Provenance of Turquoise in the Southwestern United States. *Geological Society of America Bulletin* 127 (11-12):1617-1631.

Thibodeau, Alyson M., Leonardo López Luján, David J. Killick, Frances F. Berdan y Joaquin Ruiz

- 2018 Was Aztec and Mixtec Turquoise Mined in the American Southwest? *Science Advances* 4 (6):eaas9370.

Valdovinos Pérez, Víctor y Cristina García M.

- 2017 Sobre cantos de río: La industria lítica en el Valle de Ónavas, Sonora. En *Arqueología* (52): 47-75. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Velázquez Castro, Adrián

- 2007 *La producción especializada de los objetos de concha del Templo Mayor de Tenochtitlan*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Villalpando C., Elisa, Cristina García M. y Astrid Avilez R.

- en prensa Tradiciones malacológicas de Sonora en contextos funerarios. En *Memoria del Coloquio Avances y Perspectivas en la Investigación de los Materiales Arqueológicos de Concha. Homenaje a la Dra. Lourdes Suárez Diez*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Watson, James T., y Cristina García M.

- 2016 Postclassic Expansion of Mesoamerican (Biocultural) Characteristics into Sonora, Northwest Mexico. *Journal of Field Archaeology* 41(2):222-235.

2017 Dental Modification and the Expansion and Manipulation of Mesoamerican Identity into Northwest Mexico. En *A World View of Bioculturally Modified Teeth*, editado por Scott E. Burnett y Joel D. Irish, pp. 298-316. University Press of Florida, Gainesville.

Weigand, Phil C.

1993 *Evolución de una civilización prehispánica: arqueología de Jalisco, Nayarit y Zacatecas*. El Colegio de Michoacán, Zamora, Michoacán.

2008 Turquoise: Formal Economic Interrelationships between Mesoamerica and the North American Southwest. En *Archaeology without Borders: Contact, Commerce and Change in the U.S. Southwest and Northwestern Mexico*, editado por Laurie D. Webster, Maxine E. McBrinn y Eduardo Gamboa Carrera, pp. 343-353. University Press of Colorado, Boulder, Colorado.

Weigand, Phil C., Garman Harbottle, y Edward V. Sayre

1977 Turquoise Sources and Source Analysis: Mesoamerica and the Southwestern U.S.A. En *Exchange Systems in Prehistory*, editado por Timothy K. Earle y Jonathon E. Ericson, pp. 15-34. Academic Press, San Diego, California.